

University of Groningen

Innoveren op het grensvlak

Broekhuis, A.A.

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2006

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Broekhuis, A. A. (2006). *Innoveren op het grensvlak*. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

INNOVEREN OP HET GRENSVLAK

rede
uitgesproken bij de aanvaarding
van het ambt van gewoon hoogleraar
in de technische scheikunde, in het
bijzonder de product technologie aan de
faculteit der wiskunde en
natuurwetenschappen
van de Rijksuniversiteit te Groningen
op dinsdag 28 februari 2006

door

Prof. dr. A.A. Broekhuis

Mijnheer de Rector Magnificus, leden van het College van Bestuur, zeer geachte aanwezigen.

Inleiding - Geschiedenis

Het is traditie dat een nieuwe hoogleraar zijn opvattingen over zijn vakgebied en zijn plannen presenteert in een oratie. Daarnaast is het traditie te beginnen met een definitie van het vakgebied. Ik houd van tradities maar gelukkig ook van vernieuwen, oftewel innoveren. Producttechnologie heeft te maken met vernieuwing en het is een nieuw vak. Het geven van een definitie stel ik even uit tot later omdat ik me eerst wil concentreren op het ontstaan van het vakgebied als nieuw onderdeel van de chemische technologie.

Immers, na ongeveer 100 jaar ontwikkeling in de procestechnologische wetenschap en de toepassing daarvan in de jaarlijkse productie van vele miljoenen tonnen producten, zoals bulkchemicaliën, chemische specialiteiten, farmaceutica, cosmetica, staal, textiel en voedsel, moet men zich afvragen of het nodig is om binnen de kaders van de chemische technologie een nieuw vakgebied te ontwikkelen. Voordat ik u mijn antwoord op deze vraag zal geven, wil ik eerst een aantal uitspraken van pioniers in het vakgebied en enkele recente veranderingen in de procesindustrie met u doornemen.

Als eerste wil ik een citaat van mijn voorganger aanhalen:

“De wereld verandert, nu wij nog”

Wesselingh, 1998

Deze uitspraak is op veel manieren uit te leggen, maar ik stel mij voor dat hij bedoeld moet hebben dat de procesindustrie na de enorme groei in de jaren '60 – '80 van de vorige eeuw in een fase is beland van bijna permanente herstructurering.

Geïntegreerde bedrijfsonderdelen werden ontkoppeld tot business units, corporate R&D organisaties geminimaliseerd en omgepoold tot business unit R&D functies, strategieën aangepast en bedrijfsonderdelen verhandeld. De procesindustrie geeft meer en meer het beeld van industriële reuzen die zich concentreren op lage kosten productie, naast industriële dwergen met focus op de productie van specialiteiten. Een recente analyse ¹ van de European Chemical Industry Council (CEFIC) laat zien dat, in 2004, zeventig procent van de omzet door slechts vier procent van de 27000 chemische ondernemingen in Europa is gerealiseerd. De productie in deze sector is weliswaar geleidelijk gegroeid, maar dit wel ten koste van het aantal medewerkers. Helaas laat deze analyse niet zien hoeveel ondernemingen zich bezig houden met de productie van specialiteiten. Waarschijnlijk zijn er dat erg veel en we moeten ons afvragen wat dit betekent voor de vraag naar wetenschappelijk onderzoek en wat het betekent voor het onderwijs. Een andere studie, uitgevoerd door de consultancy organisatie Arthur D. Little ², verdeelt de chemische industrie in een “upstream” en een “downstream” sector. “Upstream” staat voor de bulk industrie, “downstream” voor de gedifferentieerde producten sector. Deze studie laat zien dat de Europese chemische industrie uitstekende kansen heeft ten opzichte van de opkomende economieën in het Midden en Verre Oosten. Maar dit kan alleen als we onze kennisvoorsprong blijven inzetten in technologie optimalisatie en in de productie van gedifferentieerde producten.

Het antwoord van de academische instellingen op deze ontwikkelingen is vertraagd zonet afwezig. Afgezien van de steeds lagere instroom van studenten in de β -vakken, is er in de academische onderwijsinstellingen weinig veranderd. Als belangrijke leverancier van kennis en afgestudeerden voor deze sectoren bieden universiteiten en technische hogescholen nog steeds een overwegend klassiek chemisch technologisch curriculum aan.

Tegen deze achtergrond moet de vraag gesteld worden of bijsturing van de opleiding chemische technologie noodzakelijk is. Sommigen onder u zijn van mening dat het wel degelijk gewenst is en ik deel die mening.

Wat is er in Groningen gebeurd? Onder leiding van mijn voorganger en een aantal collega's is de RuG in 2000 als eerste universiteit in Nederland gestart met de invoering van product georiënteerde vakken als onderdeel van het chemisch technologisch curriculum. Uiteindelijk heeft dit geleid tot de instelling van de leerstoel chemische producttechnologie in 2003.

Ter voorbereiding op mijn sollicitatiegesprek voor deze positie leek het mij niet onverstandig om een visie te hebben op het vakgebied. Daartoe deed ik destijds een onderzoekje op internet met de volgende trefwoorden combinaties: “product design”, “product engineering” en “product technology”. Dit resulteerde in enorme aantallen verwijzingen naar, voor mijn gevoel, weinig relevante informatie over het vakgebied chemische producttechnologie. De conclusie dat het vakgebied moeilijk in enkele eenduidige woorden te vatten zou zijn was daarmee snel getrokken. Onderzoek in de reguliere databases voor wetenschappelijke literatuur leverde een licht beter resultaat maar nog steeds geen duidelijke definitie van het vakgebied.

Alleen de combinatie “chemical product design” leverde enkele relevante referenties, inclusief een overzicht van de pioniers in het vakgebied. Te weten: Prof. J. Wei (Universiteit van Princeton, USA), Prof. E. Cussler (Universiteit van Minnesota, USA) en Dr. G. Moggeridge (Universiteit van Cambridge, UK). Middels een korte e-mail wisseling kreeg ik van prof. Wei de tip om eens in Groningen met prof. Wesselingh te gaan praten. (Hij, prof Wei, wist op dat moment niet van mijn sollicitatie naar de vacature die door de pensionering van Hans was ontstaan).

<i>Internet</i>	<i>2002</i>	<i>2006</i>
<i>Product design</i>	<i>1.600.000</i>	<i>2.200.000</i>
<i>Product engineering</i>	<i>230.000</i>	<i>248.000</i>
<i>Product technology</i>	<i>245.000</i>	<i>260.000</i>
<i>Chemical product design</i>	<i>12</i>	<i>2.200</i>

Recent heb ik beide zoekacties herhaald en de resultaten laten duidelijk zien dat er iets gaande is. *Chemical product design wordt een populair onderwerp.*

Analyse van de gevonden informatie leert dat de opvattingen over de inhoud van het vakgebied sterk uiteenlopen. Er lijkt een verband te bestaan tussen de wetenschappelijke achtergrond van de auteurs en hun visie op het vakgebied. Zo leggen chemici bij voorkeur een relatie tussen chemische stofeigenschappen en de uiteindelijke product-eigenschappen, terwijl ingenieurs productkwaliteit veelal relateren aan fysische grootheden en verwerkingstechnologie. Welke is de juiste benadering? Wellicht beide, wellicht een mix.

Tot slot van deze inleiding enkele andere citaten van gelijke strekking:

“We have to re-invent ourselves”

“Product engineering is converting a discovery into a useful product”

Cussler en Wei, AIChE Journal, 2003

De auteurs geven in hun artikel³ aan dat er in de wereld van de chemische technologie iets moet veranderen. Daarnaast presenteren zij een interessante visie op de inhoud van het vakgebied “Chemical Product Engineering” met overigens weer een andere combinatie van trefwoorden (!). Ook presenteren ze een analyse van de arbeidsmarkt voor chemisch technologen waarbij een verschuiving van de klassieke “upstream” bulkindustrie naar de “downstream” chemische specialiteiten industrie zichtbaar wordt. Deze verandering vraagt, aldus de auteurs, om een andere aanpak van de chemische technologie opleiding.

Definities

In de inleiding zijn een aantal woorden gebruikt die verduidelijkt moeten worden voordat een heldere definitie van het vakgebied product-technologie kan worden geformuleerd.

Onder *product* verstaan we als consument veelal een voorwerp of een artikel bestemd voor een bepaalde toepassing. We kennen er graag een waarde aan toe. (Denk aan voorbeelden als verf, lijm, een auto of, zo u wilt, een kopje koffie). De waarde wordt vaak uitgedrukt in relatie tot de prijs die voor het artikel is betaald en de mate waarin het artikel voldoet aan de vooraf gestelde kwaliteitsnormen of aan de verwachte kwaliteit. In deze beschouwing moet het woord *product* primair gelezen worden als de uitkomst van een reeks handelingen in een productieproces, die leidt tot het uiteindelijke artikel. Uiteraard blijft er een prijs en een set kwaliteitseisen aan verbonden.

Niet-technici gebruiken het woord *technologie* regelmatig om bewondering uit te spreken voor moderne producten waarvan ze de praktische werking moeilijk kunnen doorzien, maar waar ze wel veel voordeel van denken te ondervinden. Daarnaast wordt het gemak dat de consument ervaart van de moderne producten gepresenteerd als omgekeerd evenredig met de leeftijd van de gebruiker. (Denk bijvoorbeeld aan de Gouden Loekie uitreiking van 2005). In de combinatie producttechnologie lees ik technologie als de systematische toepassing van ingenieurswetenschappen in de handelingen die leiden tot een product. Volgens de Grote Van Dale)⁴ is hiermee ook het begrip *engineering* goed omschreven.

Rest nog het begrip *design*. Het woord design wordt vaak gebruikt in relatie tot de esthetische waarde die wij, of andere experts in de schoonheidsleer, toekennen aan een product of artikel. In de producttechnologie spreek ik uitsluitend over design in de betekenis van ontwerp en vormgeving.

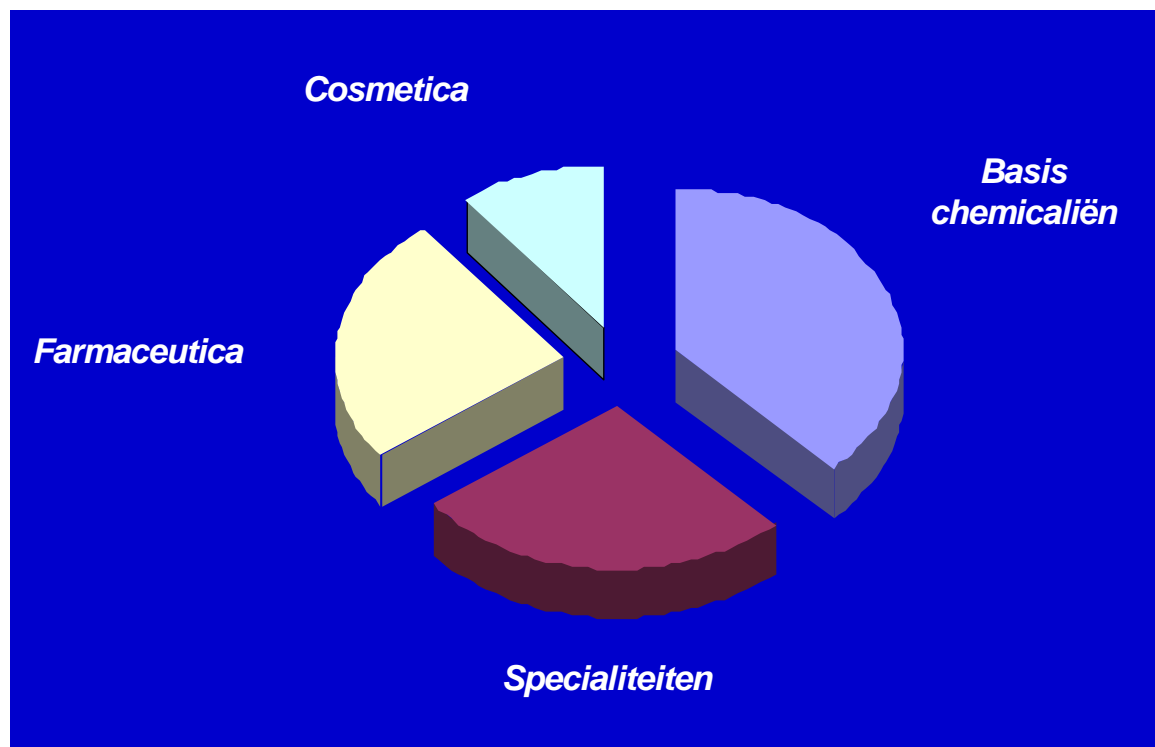
Chemische producten

Als inleiding op het vak producttechnologie, geef ik u eerst een globaal overzicht van een van de meest belangrijke sectoren in de procesindustrie: de chemische sector. De eerder genoemde CEFIC analyse onderscheidt in deze sector vier hoofdgebieden. Te weten: basischemicaliën, specialiteiten, farmaceutica en cosmetica.

De delen zijn weergegeven in de volgende figuur. Hierin is te zien dat ruim 60% van de omzet in de Europese chemische industrie bestaat uit complexe samengestelde producten. Voorbeelden die we allemaal kennen zijn: medicijnen, verzorgingsproducten, verf, drukinken, bestrijdingsmiddelen, wasmiddelen, etc..

Deze producten onderscheiden zich van de basischemicaliën omdat ze samengesteld zijn uit meerdere componenten, vaak een bewust gekozen vorm hebben en een gespecificeerde functie vervullen. Hoewel de laatste criteria in zekere mate ook gelden voor basischemicaliën, worden deze voornamelijk geproduceerd en geleverd als enkelvoudige en op zuiverheid gespecificeerde intermediaire producten. Ze worden veelal in een volgende fase geformuleerd met andere componenten tot gestructureerde artikelen.

De vorm van gestructureerde artikelen kan variëren van stevige vormgegeven onderdelen, denk bijvoorbeeld aan de behuizing van de elektrische tandenborstel, tot poedervormige wasmiddelen of stroperige zonnebrandcrème. Iedereen gebruikt, wellicht vaak zonder het zich te realiseren, dagelijks meerdere samengestelde producten die hun oorsprong hebben in de chemische industrie)⁵. Sterker nog, zonder proces- en producttechnologie zouden wij maar een beroerd en kort leven hebben. Een soortgelijk beeld is te schetsen voor andere procesindustrieën als de metaal-, de papier- of de voedselsector. Stuk voor stuk spelen ze een niet weg te denken rol in ons leven.



Het samenstellen en vormgeven van gedifferentieerde producten wordt vaak tot kunst verheven. Reclamemakers doen ons graag geloven dat productontwikkelaars in staat zijn om hun producten spectaculaire eigenschappen mee te geven. Denk maar aan recente reclames over de ontwikkeling van shampoos met glanstechnologie, huidcrèmes die voor je werken terwijl je slaapt of afwasmiddelen met magnetische eigenschappen. Een afwasmiddel maken dat magnetisch is voor vetten kan ik niet. Een goed werkend afwasmiddel zou ik wellicht wel kunnen maken en ermee afwassen zeker. Doe ik dat wel eens? Ja, maar wel met tegenzin!

Het samenstellen en vormgeven van een goed functionerend, betaalbaar en veilig chemisch product is een vak, of misschien toch wel een kunst. Is dat wat het is? Is producttechnologie kunst?

Het vak

Inmiddels wordt in academische kringen veel gesproken over producttechnologie. Verschillende universiteiten in binnen- en buitenland hebben leerstoelen ingesteld voor het nieuwe vak. Ook de oprichting van de sectie producttechnologie binnen de Europese Federatie van Chemisch Ingenieurs laat zien dat er iets aan het veranderen is. We noemen deze verandering voor het gemak de overgang van chemische technologie naar producttechnologie of naar proces / producttechnologie. De combinatie vind ik de beste benaming voor het vakgebied.

Iedereen, ook u, is in staat om een lijst met producten te noemen waarvoor bij de totstandkoming meer dan alleen maar chemisch technologische kennis is gebruikt. Maar gezamenlijk zijn we kennelijk nog niet in staat geweest om een goede definitie voor het vakgebied te formuleren. Overigens, het geven van een definitie is interessant. Veel interessanter vind ik de vraag welk curriculum we onze studenten moeten aanbieden en wat de afnemende markt mag verwachten van de afgestudeerde master of ingenieur in de producttechnologie.

Ik ben blij met deze onduidelijkheid over het vak omdat het mij de kans geeft als eerste een uitspraak te doen zonder dat ik tegengesproken wordt. Daarom durf ik vanaf deze plek met een gerust hart een eerste definitie te formuleren: *Producttechnologie is het integreren van verschillende wetenschappelijke disciplines met het doel om een productidee op efficiënte en effectieve wijze om te zetten naar een economisch haalbaar succesvol product.* Hier moet u maar even over nadenken, dat heb ik ook gedaan. Het enige bezwaar dat ik heb tegen deze omschrijving is de lengte van de zin. Bovendien geven de woorden nog steeds niet de concrete inhoud van het vak weer. In het hierna volgende deel zal ik proberen duidelijk te maken wat die inhoud is en ik doe dat onder de titel *“Innoveren op het grensvlak”*.

Innoveren op het grensvlak

Innoveren is een bekend begrip. Het betekent simpelweg vernieuwen. Niet noodzakelijkerwijs uitvinden, maar vernieuwen. Het veranderen van een bestaand product is ook innovatie. Het definiëren van het begrip grensvlak is moeilijker, zeker in relatie tot de producttechnologie. Kennelijk is het begrip dusdanig moeilijk dat het woord in veel woordenboeken ontbreekt. De Grote Van Dale omschrijft het als “de plaats waar twee fasen elkaar raken”.

De dikte van een grensvlak is een oud filosofisch probleem dat ik hier niet voor u ga oplossen. Echter, omdat grensvlakken in de producttechnologie zo'n belangrijke rol spelen, moet ik iets zeggen over het karakter en de afmeting van de verschillende types. Het karakter van deze vlakken is af te leiden uit de verschillende te onderscheiden eenheden (fasen) die we in mijn vakgebied aantreffen. De belangrijkste zijn:

- de componenten die samen een product vormen,
- de fasen die ontstaan als deze componenten met elkaar mengen,
- de omgeving waarin de producten worden verwerkt en toegepast,
- de verschillende vakdisciplines die een rol spelen, en
- de academische kenniscentra en het bedrijfsleven.

Maar hoe dik zijn die grensvlakken dan wel? Afgaande op ons gevoel zullen we allemaal zeggen dat een grensvlak dun en dik kan zijn. De ingenieurs onder ons zullen waarschijnlijk proberen de dikte te meten of te schatten. Ik ben geen ingenieur, maar wil hier toch proberen om af te leiden hoe dik of dun een grensvlak in mijn vakgebied kan zijn.

Hoe dik is dun?

Het dunst denkbare grensvlak waaraan tijdens de ontwikkeling van nieuwe producten gesleuteld kan worden is de koppeling van atomen of de interactie tussen atomen. Dit kan worden bereikt door het uitvoeren van een chemische reactie tussen de componenten in een product, of door atomen en moleculen met de juiste affiniteit met elkaar in contact te brengen. De dikte van een dergelijk grensvlak ligt in de orde van enkele angströms. Om enig gevoel te ontwikkelen voor deze afmeting geef ik u het volgende vergelijking:



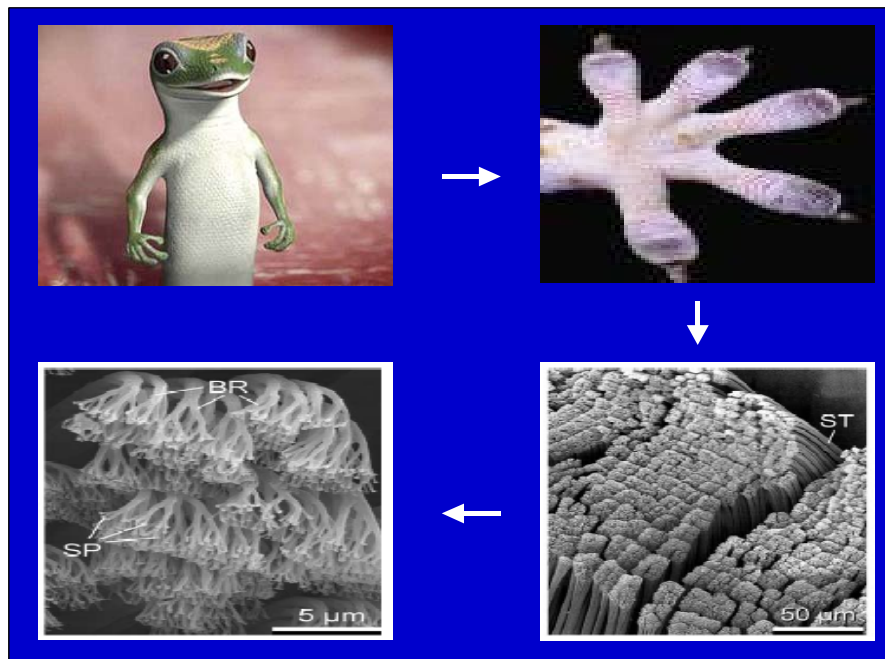
$$\frac{R_{O\text{-atoom}}}{R_{\text{tennisbal}}} \sim \frac{R_{\text{tennisbal}}}{R_{\text{aarde}}}$$

De verhouding tussen de straal van een zuurstofatoom (0.65 Å) en de straal van een tennisbal is bij benadering gelijk aan de verhouding tussen de straal van een tennisbal en de straal van de aarde. M.a.w. een grensvlak van enkele angströms is erg dun!

In de meeste commerciële producten vinden we gedispergeerde deeltjes met afmetingen die uiteenlopen van enkele nanometers, zeg tientallen angströms, tot enkele honderden micrometers (ter vergelijking: de diameter van een menselijke haar is ongeveer 80 micrometer). De grensvlakken tussen deeltjes met deze afmetingen en de dispergerende fase kunnen variëren van enkele angströms tot enkele micrometers.

Aan de andere zijde van het producttechnologie spectrum, in de verwerking van samengestelde producten, wordt veelal gewerkt in afmetingen van micrometers tot centimeters. Het werkgebied van de producttechnoloog loopt van de subnano-fase via de nano- en de micro-fase tot de macro-fase. Producttechnologen zijn nano-technologen!

Hoe belangrijk de rol van afmetingen kan zijn voor de interactie in een grensvlak leren we van de natuur. In de volgende figuur ziet u het voetje van een *Gekko gekko*.



Dit beestje is in staat om langs muren en plafonds te wandelen dankzij de speciale opbouw van de teenhuid. Onderzoek heeft aangetoond dat deze is opgebouwd uit honderdduizenden haartjes met een lengte van 30-130 micron. Ieder haartje is aan het eind vertakt in een borstelvormige structuur (spatelaë) met afmetingen in de ordegrootte van 100-250 nanometer. Verder is gevonden dat de hechting van de

borsteltjes op, zeg een muuroppervlak, uitsluitend wordt veroorzaakt door de interactie van moleculen in het grensvlak)⁶. M.a.w. de natuur heeft haar eigen klittenband gemaakt. Echter niet op basis van mechanische interactie, maar via moleculaire interacties. Zou het mogelijk zijn om dit na te bootsen met synthetische materialen? Ja, ik denk dat het technisch mogelijk is, maar vrees dat het product erg duur zal worden.

Terug naar het vak

In de volgende tabel is een overzicht gegeven van een aantal producten afkomstig uit de upstream chemiesector. De tabel geeft een overzicht van de producten die worden verkregen door koolstofatomen met elkaar te verbinden. Door het aantal aan elkaar gekoppelde C-atomen te vergroten, wordt een productenpakket verkregen dat strekt van gasvormige tot en met hoogmoleculaire vaste materialen. Elk van deze materialen wordt vervolgens benut in een of meerdere toepassingen.

<i>C- atomen</i>	<i>Toestand</i>	<i>Product</i>
1 - 4	gas	gas
5 - 11	laag visceuse vloeistof	benzine
9 - 16	visceuse vloeistof	kerosine
16 - 25	hoog visceuse vloeistof	olie/ vet
25 - 50	kristallijn vast	paraffine was
50 - 1000	semi-kristallijn vast	lijm/ coating
1000 - 5000	taai vast plastic	plastic containers
3 - $6 \cdot 10^5$	vezels	kogelvrije vesten

De procesindustrie die deze materialen maakt, is klassiek het huis voor chemici en chemisch technologen. In de toepassingssector, de rechter kolom, vinden we naast chemici en werktuigbouwers een steeds groter wordend aantal chemisch ingenieurs. Over het algemeen is deze groep academici niet opgeleid voor dit vakgebied. Ze zijn opgeleid voor de sector die de basismaterialen in de linkerkolom produceert. Tijdens hun studie zal weinig aandacht besteed zijn aan de relatie tussen de

eigenschappen van de basischemicaliën en hun gedrag in de uiteindelijke toepassing.

Om te illustreren wat de ontwikkeling van een idee tot een verkoopbaar product inhoudt, wil ik een paar voorbeelden schetsen van de ontwikkeling van lijmen. Om meerdere redenen heb ik voor dit product gekozen:

- lijmen zijn samengestelde geformuleerde producten, gedifferentieerd naar en gericht op specifieke markten,
- er is veel kennis over lijmen, ze zijn al duizenden jaren in gebruik en ze kunnen worden gemaakt op basis van biomaterialen en synthetische grondstoffen,
- het zijn grensvlakproducten, ze vormen letterlijk het overgangsgebied tussen verschillende fasen, en
- tot slot, heb ik enige ervaring met lijmen.

Kortom, het houdt je vast.

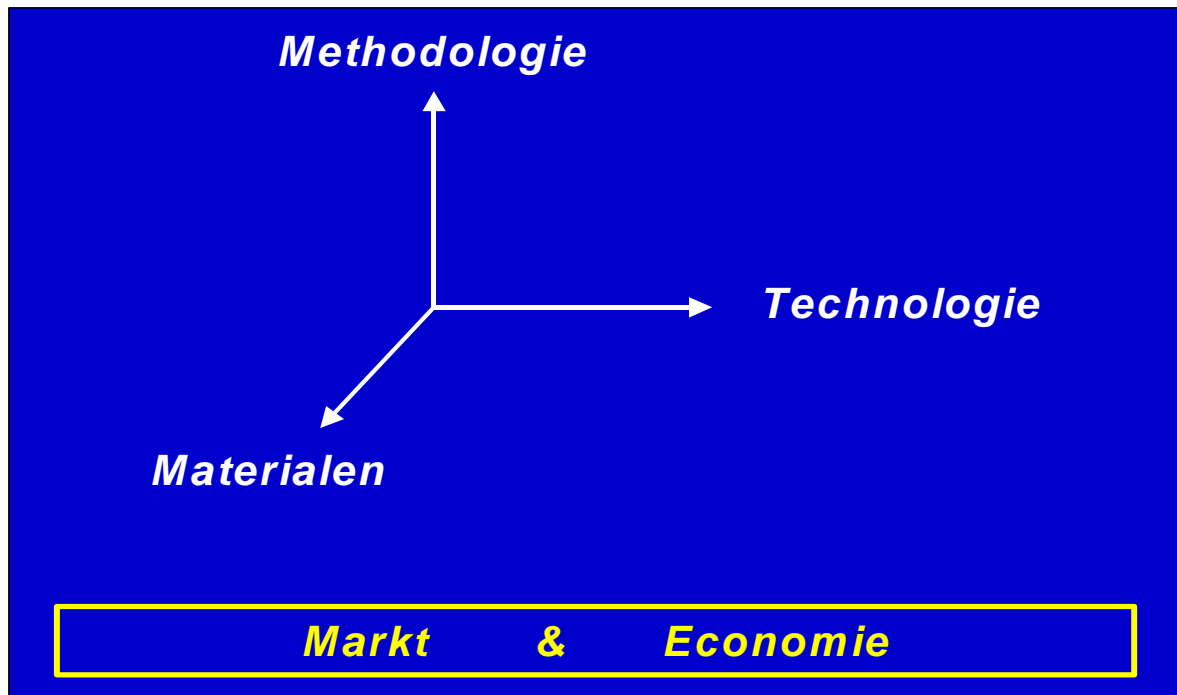
Een van de producten in het bovenstaande overzicht wordt gebruikt als lijm. Deze wordt ondermeer ingezet in de productie van papieren melkcontainers. Ik stel me voor dat deze lijm ontwikkeld zou kunnen worden zonder de exacte structuur van de basiscomponent te kennen. Op voorwaarde dat de lijm niet schadelijk is voor de gezondheid van de consument, hoeft de ontwikkelaar de chemische samenstelling niet echt te weten. De toepassing vraagt om kennis over hechtingskracht, rheologie, duurzaamheid en kosten. In vergelijking tot de fundamentele wetenschappen als de basis voor de upstream chemiesector is de kennis in de volgindustrie veelal gebaseerd op fysisch chemische kennis en ervaring. Voor meer complexe producten is echter wel degelijk kennis nodig over de chemie van de grondstoffen. Het succesvol ontwerpen en ontwikkelen van gestructureerde producten vraagt om integratie van verschillende vakgebieden.

Mijn vak heeft te maken met chemie, met chemische technologie en met verkoopbare goed functionerende producten. Kortweg noem ik het “chemische product technologie”. Het gaat over het omzetten van ideeën tot commercieel haalbare artikelen.

De oorsprong van zo’n idee kan een nieuwe ontdekking zijn, een probleem mét of een verbetering van een bestaand product. Mijn vak heeft te maken met het mengen van chemische stoffen, soms met reacties en interacties tussen deze chemische componenten, en met het vormgeven van de verkregen mengsels op een manier dat het

uiteindelijke samengestelde en gestructureerde product toepasbaar en betaalbaar is, en voldoet aan de eisen van de klant.

In de chemische industrie wordt deze activiteit vaak omschreven als “mengen en roeren”. Het waardeoordeel dat hieraan verbonden wordt laat zich gemakkelijk raden. Eerlijk gezegd is het voor een chemisch ingenieur ook ongewoon omdat wij hem of haar geleerd hebben dat een chemisch proces meestal wordt afgesloten met het scheiden van stoffen tot enkelvoudige componenten. Niet met het mengen en verwerken van mengsels tot complexe en gestructureerde producten.



Het gesuggereerde waardeoordeel is echter onterecht. Product-technologie is een vak waarin bestaande producten worden vernieuwd of nieuwe producten worden gecreëerd. Om dit met succes te kunnen doen is kennis nodig. Kennis van de eigenschappen van de afzonderlijke materialen, kennis van de verwerkingstechnologie, kennis van de relatie tussen verwerkingstechnologie en producteigenschappen en, tot slot, kennis omtrent de productiekosten en de afnemende markt. Om een nieuw product snel te kunnen ontwerpen en ontwikkelen is bovendien een gestructureerde aanpak nodig. Het is een vak met veel dimensies en veel grensvlakken. Deze voorwaarden vinden we overal, in de eerder besproken chemische sectoren, in de voedselindustrie, in de metaal-industrie, in de medische en de biomedische sector.

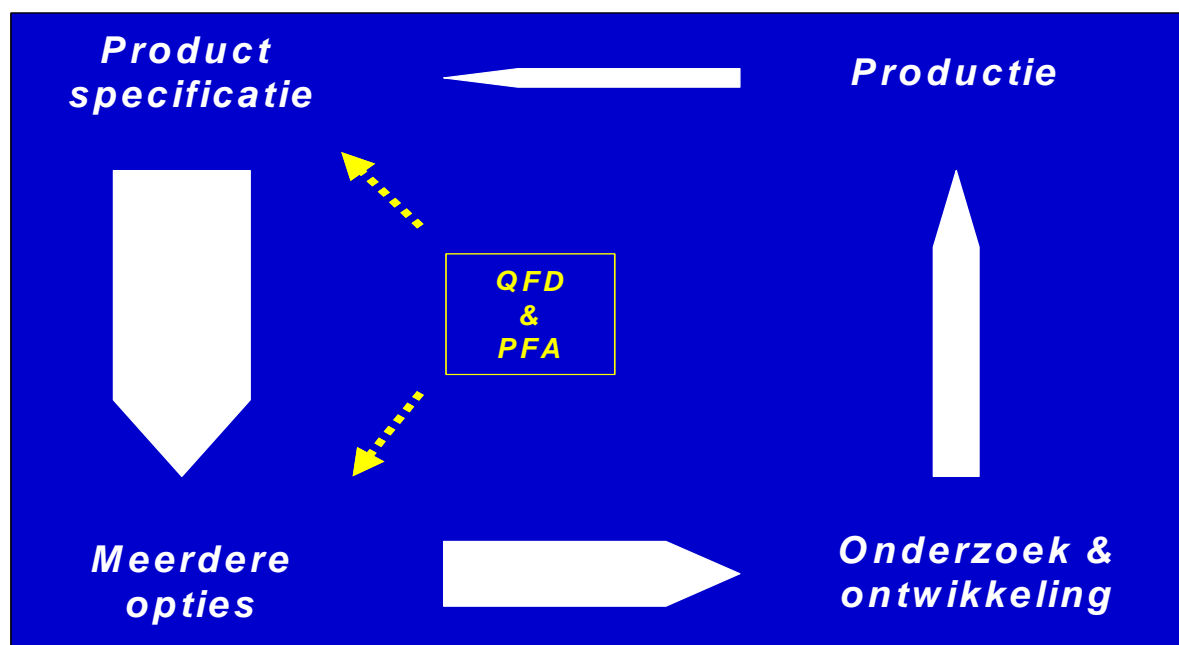
Een nieuw product creëren betekent dat uit veel beschikbare grondstoffen gekozen moet worden. Deze laten zich met behulp van verschillende technische middelen mengen en vormen. Dit betekent

keuzes maken uit veel mogelijkheden. Om een beeld te vormen van de complexiteit van het vakgebied geef ik u enkele getallen. Op dit moment zijn ruwweg tachtigduizend verschillende chemicaliën commercieel beschikbaar, variërend in prijs van goedkoop tot extreem duur. Om nog maar niet te spreken over de vele miljoenen componenten die beschikbaar gemaakt kunnen worden door synthese. Daarnaast kennen en beheersen we honderden verschillende technologieën of combinaties van technologieën die kunnen worden toegepast bij de verwerking en het gebruik van producten. Het is een vak met eindeloos veel keuzemogelijkheden.

Hoe brengen we orde in deze chaos? Wat betekent dit voor het onderwijs van de toekomstige ingenieur en wat betekent dit voor producttechnologisch onderzoek.

Methodologie

Vraag een architect een huis te bouwen of een producttechnoloog een nieuwe lijm te ontwikkelen. Beide ontwerpers zullen beginnen met het vaststellen van de wensen en eisen van de gebruiker. Zodra deze bekend zijn zullen ze proberen de eisen te vertalen naar meetbare grootheden en een aantal opties genereren met betrekking tot de te kiezen materialen en technologieën. Dit is een tijdrovend proces omdat de technicus de veelal kwalitatieve eisen en wensen van de gebruiker moet vertalen naar kwantitatieve data. In vaktermen wordt dit proces Quality Function Deployment (QFD) genoemd.



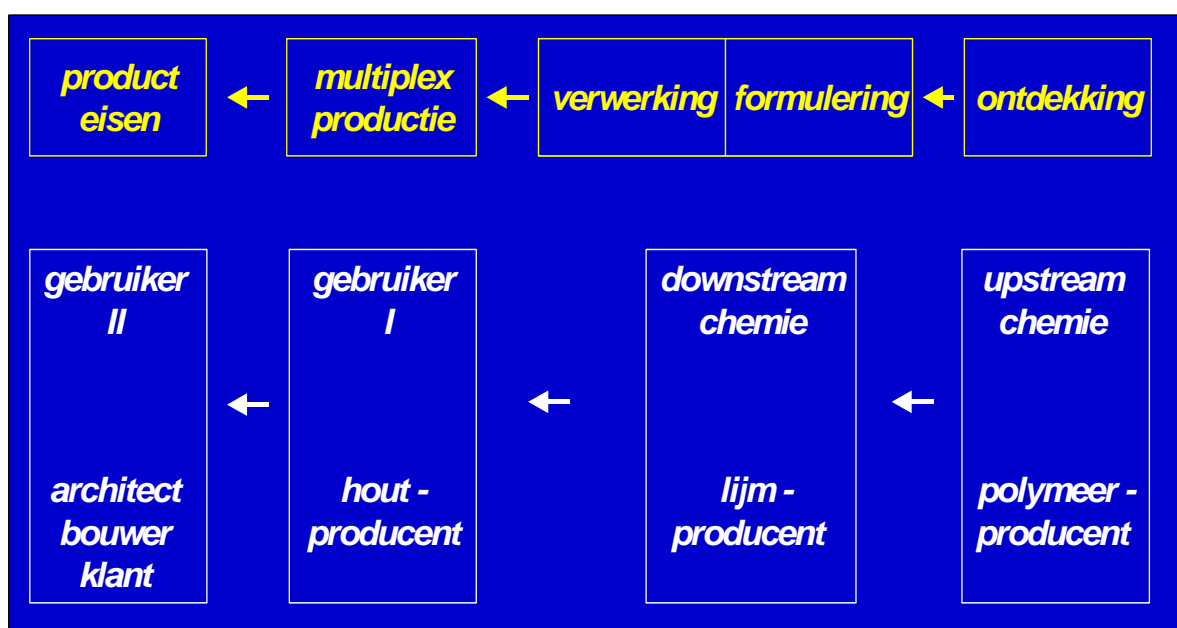
Kostprijs is vaak de enige variabele die de klant zal kwantificeren en wellicht het meest moeilijk te realiseren door de ontwerper.

Tegelijkertijd moet de ontwerper in de specificatiefase rekening houden met de te gebruiken materialen (opties), de beschikbare technologie (opties), eventueel onderzoek- en ontwikkelingswerk en de mogelijkheden om op grote schaal te kunnen produceren (productie). In vaktermen spreken we hier vaak over Product Function Analysis (PFA). Het is dan ook niet vreemd dat de designer meerdere opties moet evalueren om te voorkomen dat tijdens de ontwerpfase of tijdens de ontwikkelingsfase een stap terug gemaakt moet worden. Het zal duidelijk zijn dat gedegen technische en economische analyse vooraf een voorwaarde is voor het snel en goedkoop realiseren van een nieuw product.

Materialen en Technologie

Producttechnologie vereist een integrale benadering van de eisen en wensen die voortvloeien uit de QFD en PFA analyse die eerder genoemd zijn. Laat ik dit illustreren aan de hand van de ontwikkeling van een houtlijm.

Een chemicus werkend voor een upstream chemiebedrijf ontdekt een nieuw polymeer dat toepasbaar lijkt te zijn als grondstof voor een houtlijm. De ontwikkeling van deze grondstof tot een lijm die geschikt is voor de productie van multiplex plaat voor de woningbouw zou er als volgt uit kunnen zien:

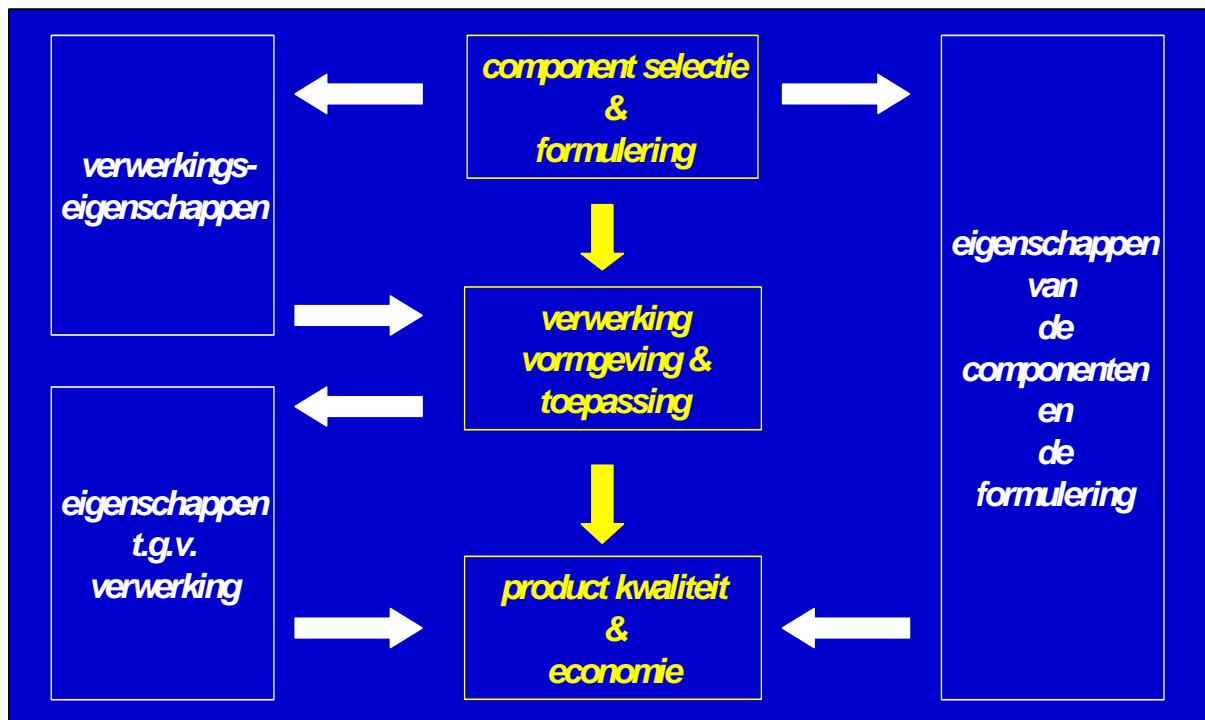


Deze figuur laat zien dat verschillende partijen een rol kunnen spelen in de ontwikkeling van dit nieuwe product. De producent van de grondstof, de lijmproducent, de multiplex producent, de bouwer, de architect en de toekomstige huiseigenaar.

De gebruikers willen een lijm die qua prijs/eigenschap verhouding kan concurreren met bestaande commerciële producten. Eigenschappen die mogelijk gevraagd worden zijn: snelle verlijming bij lage temperatuur, een lijmverbinding van voldoende sterkte, ongevaarlijk niet-toxisch gedrag tijdens verwerking en toepassing, toepasbaarheid op beschikbare machines, toepasbaarheid op vochtig hout, kleurloosheid en lange duurzaamheid. De lijmproducent moet een product leveren dat verwerkt kan worden op de machines van zijn klant. Daarnaast is het zeer waarschijnlijk dat de lijmproducent naast het selecteren van de componenten die samen de lijm vormen ook een chemische reactie moet uitvoeren, hetgeen ondermeer eisen stelt aan het te leveren polymeer van de grondstofleverancier.

In dit ontwikkelingsproces herkennen we niet alleen de grensvlakken tussen de spelers in de waardeketen, maar ook het gedrag van de lijm aan de grensvlakken die verlijmd moeten worden. We hebben hier te maken met een mix van bedrijfskundige, chemische en fysische elementen.

Samenvattend laat het wetenschappelijk speelveld van de producttechnoloog zich als volgt modelleren:

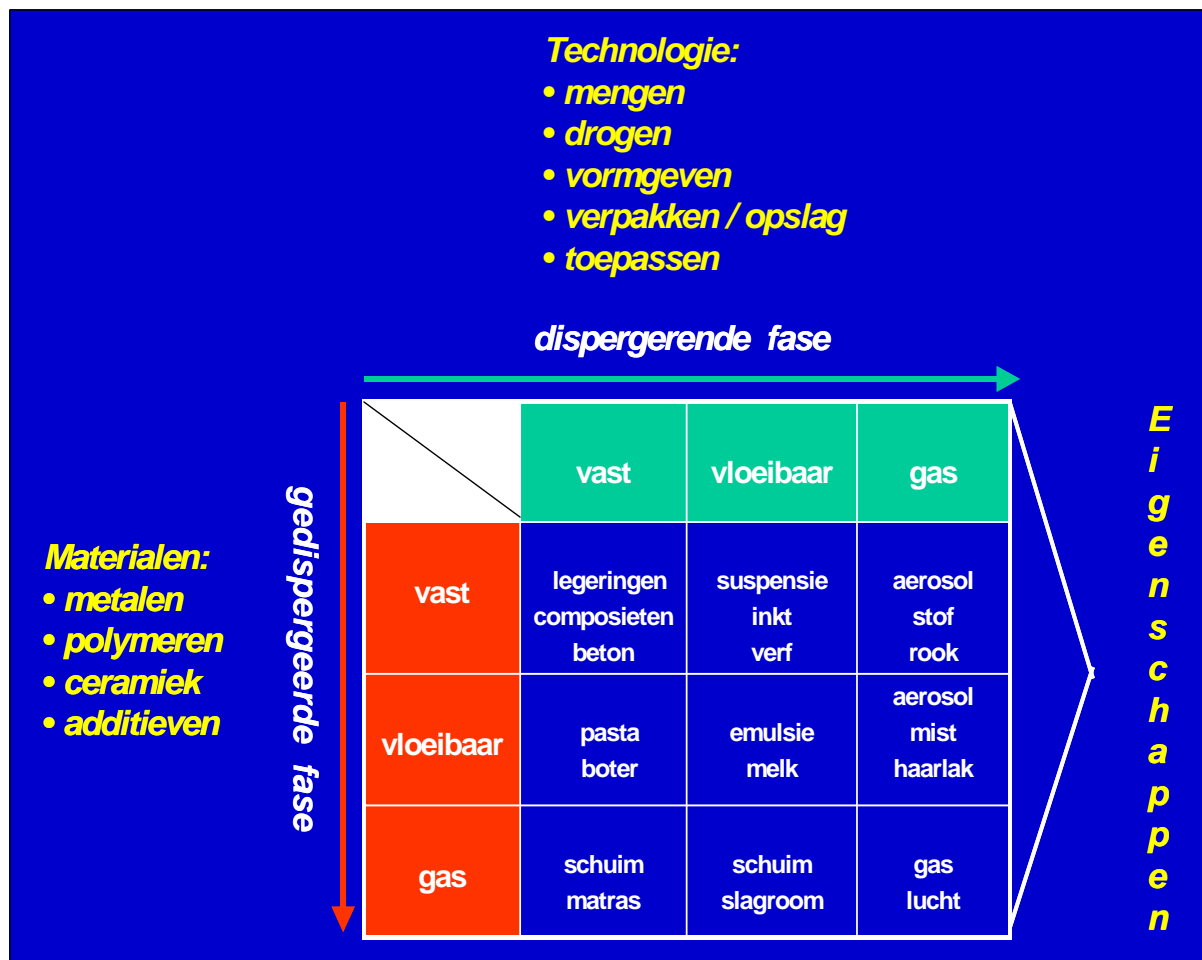


Tijdens de ontwerpfase wordt een keuze gemaakt uit de materialen waarvan op basis van theoretisch inzicht verwacht mag worden dat ze de gewenste product eigenschappen zullen leveren. Daarbij dient rekening gehouden te worden met de toe te passen formulerings-, verwerkings- en toepassingstechnologie en de eventuele veranderingen die deze bewerking kan hebben op de producteigenschappen.

De intrinsieke materiaaleigenschappen, eventuele verandering van deze eigenschappen tijdens de bewerkingen en de toegepaste technologie bepalen gezamenlijk de eigenschappen en de kosten van het eindproduct. Daarbij bestaat de mogelijkheid dat de toegepaste verwerkingstechnologie nieuwe gewenste of ongewenste veranderingen toevoegt aan de gekozen intrinsieke eigenschappen van de basiscomponenten.

Kortom, de werking, de morfologie en de prijs van een samengesteld chemisch product worden bepaald door de combinatie van intrinsieke stofeigenschappen en de toegepaste verwerkingstechnologie. Met andere woorden, het succesvol ontwerpen en produceren van een samengesteld product vereist de integratie van de klassieke chemische wetenschappen met de ingenieurswetenschappen.

Bovenstaand model van het speelveld geeft slechts een vereenvoudigd beeld van de activiteiten van de producttechnoloog. In dit model is de keuze van de basismaterialen en de interactie tussen de componenten in een geformuleerd mengsel onderbelicht. Door samengestelde chemische producten te benaderen als mengsels van een of meerdere gedispergeerde fases in een dispergerend medium is het mogelijk om het enorme scala aan commerciële producten te classificeren.



In de matrix worden producten verkregen als mengsels van stoffen die ieder afzonderlijk kunnen voorkomen in een vaste, vloeibare of gasvormige toestand. Denk bijvoorbeeld aan metalen, polymeren, ceramiek of laag moleculaire organische of anorganische componenten die met elkaar worden gemengd. De textuur van de combinaties is in de matrix aangegeven. Deze benadering leidt tot minimaal 9 verschillende types producten die we, met enig nadenken, allemaal zullen herkennen als producten die we regelmatig gebruiken.

Ook deze matrix geeft een sterk vereenvoudigd beeld waarin slechts één gedispergeerde fase wordt opgemengd in één dispergerend medium. In de praktijk zijn de producten veel complexer en bestaan ze uit meerdere componenten. In de matrix zijn bovendien alleen voorbeelden gegeven waarbij de gedispergeerde component niet mengbaar is met het dispergerend medium. (De gas/gas combinatie vormt een uitzondering). Uiteraard kennen we ook situaties waarin beide fasen wel mengbaar zijn, hetgeen het aantal mogelijkheden nogmaals vergroot.

Voor de producttechnoloog zijn beide situaties buitengewoon interessant. Zowel bij mengbaarheid als bij niet-mengbaarheid van de afzonderlijke componenten wordt een nieuwe set eigenschappen gerealiseerd die afwijkt van die van de uitgangsstoffen. In beide gevallen is met name de interactie tussen de verschillende componenten bepalend voor de te verkrijgen eigenschappen.

Inmiddels zijn veel modellen ⁷⁻⁹ bekend die de interactie tussen mengbare componenten en niet mengbare componenten beschrijven en die een voorspellende waarde hebben voor de nieuwe set eigenschappen. Structuur – eigenschap relaties zijn bekend voor laag- en hoogmoleculaire componenten en diverse interactiemodellen zijn bekend voor de 9 combinaties die in de matrix zijn gegeven. Het gaat hier te ver om ze te behandelen en bovendien zal het merendeel van u weinig kunnen doen met deze kennis.

De conclusie over dit onderdeel van het vakgebied moet zijn dat de keuze van de te gebruiken grondstoffen en de bereikbare interactie tussen de componenten sterk chemisch georiënteerd is.

Daarnaast maakt de producttechnoloog gebruik van technische middelen om te mengen, te drogen, vorm te geven en producten toe te passen. Daarbij gelden de wetmatigheden die we kennen van de ingenieurswetenschappen waarin het gedrag van materialen in verwerkingsapparatuur wordt gekoppeld aan fysische grootheden. In dit deel van het vakgebied spelen transportverschijnselen, rheologie en materiaalkarakteristieken een belangrijke rol.

Langs de zijlijnen van dit fysisch-chemische speelveld heeft de producttechnoloog tot slot te maken met bedrijfskundige aspecten. Strategie, productieplanning, logistiek en producteconomie vormen een onlosmakelijk deel van succesvol productontwerp en productontwikkeling.

Is de producttechnoloog dan toch een “menger”? Inderdaad, maar hij is niet de alchemist die in een pruttelend potje chemicaliën staat te roeren, maar een intelligent en breed georiënteerd menger van kennis uit verschillende vakgebieden. Hij moet immers in staat zijn om zich te kunnen inleven in het vakgebied van de chemicus, daarnaast de ingenieurswetenschappen beheersen en bovendien geschoold zijn in de bedrijfswetenschappen. Kortom, producttechnologie is er op gericht om te innoveren door het overschrijden van de grensvlakken tussen verschillende wetenschappelijke disciplines.

Onderwijs

De meest uitdagende grensvlakken in de producttechnologie vinden we in de samengestelde producten en in de integratie van de verschillende vakdisciplines.

Van de producttechnoloog wordt veel gevraagd. Hij/zij moet in staat zijn kennis bij elkaar te brengen over materialen, technische processen, markt en economie. Is dit allemaal te verenigen in één persoon? Zeker niet, maar het onderwijsprogramma is wel in te richten met onderdelen uit de verschillende vakdisciplines, zodanig dat voldoende bagage wordt aangereikt voor een succesvolle start in de downstream sectoren van de chemie, de voeding, de metaal of de farmaceutische sector.

De vorming tot producttechnoloog vereist onderwijs en praktische training in de volgende technische en niet-technische onderwerpen:

- chemie van de grondstoffen in termen van structuur-eigenschap relaties; dit geldt voor laag- en hoogmoleculaire componenten
- interfacial engineering, ofwel de fysische chemie en interacties tussen componenten)¹⁰
- eigenschappen van mengende en niet-mengende systemen die opgebouwd kunnen zijn uit gasvormige, vloeibare en vaste materialen
- instrumentele methoden t.b.v. de analyse van grensvlakken en producten
- transportverschijnselen die optreden bij het mengen en ontmengen van componenten
- rheologisch gedrag van materialen tijdens verwerking en toepassing
- mechanische en niet-mechanische materiaaleigenschappen
- chemie tussen product en haar omgeving
- verwerkings- en toepassingstechnologie
- ontwerp en onderzoeksmethodologie)^{11,12}
- productieplanning
- product- en productie-economie
- computergebruik voor formuleringsoptimalisatie en procesmodellering)¹³

Uit deze lijst van onderwerpen wordt snel duidelijk dat de opleiding naast puur technische onderwerpen ook een aantal bedrijfskundige elementen bevat. Er zijn meerdere redenen voor deze aanpak. In het huidige klimaat van snelle productvernieuwing en toenemende prijsdruk is het ondenkbaar dat producten ontwikkeld worden zonder rekening te houden

met de kosten van opschaling, grootschalige productie, logistiek en marketing.

Deze universiteit biedt op dit moment een master programma proces/producttechnologie aan dat al deze onderwerpen afdekt. Het programma is toegankelijk voor studenten met een klassiek chemisch technologische bachelor, voor studenten technische bedrijfskunde met een producttechnologie bachelor en voor studenten met een industriële farmacie bachelor.

Daarnaast is gebleken dat de combinatie van techniek en bedrijfskunde de β -georiënteerde student aanspreekt. Daar waar de instroomcijfers voor de klassieke β -studies de laatste jaren sterk zijn afgenomen, hebben we de aantallen in de technische bedrijfskunde zien groeien naar een stabiel niveau van gemiddeld 70 studenten per jaar. In dit opzicht kunnen we de procesindustrieën die zich al een aantal jaren zorgen maken over het toekomstig aanbod aan technisch opgeleiden enigszins geruststellen. Onder het motto “wij leveren de masters, jullie de banen” zien we de toekomst vol vertrouwen tegemoet.

Onderzoek

Wat betekent deze oriëntatie op producttechnologie voor het onderzoek in mijn vakgroep? Op basis van de definitie voor het vakgebied zou ik willen stellen dat ieder type onderzoek, hetzij fundamenteel of toegepast, dat leidt tot verbeterde producten en productieprocessen waardevol en vernieuwend kan zijn. Het enorme scala aan producten en technieken dat momenteel beschikbaar is, dwingt echter tot beperking en focus.

Gelukkig is dat niet moeilijk omdat het huidige financieringsmechanisme voor wetenschappelijk onderzoek automatisch leidt tot focus. Afgezien van een aantal bijzonder interessante onderwerpen die worden ondersteund door het bedrijfsleven, en waarover ik hier uiteraard niet kan uitwijden, heb ik inmiddels ervaren dat externe fondsen voornamelijk beschikbaar worden gesteld voor trendy onderzoeksthema's. Trendy thema's die overigens uitstekend passen binnen het kader van de producttechnologie: alternatieve energiebronnen, het gebruik van regenereerbare en bio-degradeerbare grondstoffen, ontwikkeling van schone producten, miniaturisering en nano-technologie.

Al deze onderwerpen zijn maatschappelijk relevant en vormen prachtige thema's voor fundamenteel en toegepast onderzoek. Ze bieden een reeks aan uitdagingen en problemen die niet oplosbaar zijn zonder integratie van verschillende vakdisciplines.

Sinds 1 januari 2006 is het onderzoek dat wordt uitgevoerd in de vakgroep chemische technologie / producttechnologie ondergebracht in het onderzoeksinstituut Industriële Technologie & Management (ITM) dat een integraal onderdeel vormt van het Technische Bedrijfskunde programma dat aan deze universiteit wordt aangeboden. Ik ben gelukkig met deze integratie. Het verdunt het grensvlak tussen de academie als kennisinstituut en het bedrijfsleven en biedt de aankomende proces/producttechnologen de mogelijkheid om zich reeds tijdens de studie te oriënteren op hun toekomstige werkomgeving. Om in de terminologie van mijn betoog te blijven: “het vormt de lijm tussen de academie en het bedrijfsleven”.

Ingenieur of Inchemieur

Inmiddels heb ik ruim drie jaar de tijd gehad om de eerder gegeven definitie voor het vakgebied te formuleren en te bedenken wat het vak in zou moeten houden. Sommige delen van mijn betoog waren voor niet-technici wellicht moeilijk te begrijpen, maar evengoed hoop ik dat ik voldoende duidelijk ben geweest om het eens te kunnen zijn met mijn analyse. Indien dat niet het geval is, zullen velen van u denken dat het leven van de producttechnoloog zich afspeelt tussen tennisballen en atomen. Voor deze producttechnoloog is dat inderdaad af en toe geval, maar dan letterlijk.

Kortweg zegt de gegeven definitie dat de product technoloog innoveert en synergie zoekt door de grensvlakken tussen de verschillende technische en chemische disciplines te “verdunnen”. Bovendien kijkt hij daarbij door een chemisch technologische bril en integreert product- en procestecnologische kennis met chemische en bedrijfskundige kennis. In dit verband moeten we ons dan ook afvragen of de product - technoloog de titel ingenieur zou moeten voeren. Vindt u met mij de titel *inchemieur* niet een betere beschrijving van zijn/haar kwalificaties? In tegenstelling tot het grote aantal internet hits voor de woorden “product technology”, stel ik met enige trots vast dat het internet het woord inchemieur - nog - niet kent.

Tot slot resteert nog de vraag waarom dit proces om te komen tot een visie op het vakgebied drie jaar heeft geduurd. Mijn antwoord hierop is kort. Zoals ik deze rede ben begonnen met een citaat wil ik ook afsluiten met een citaat. Het antwoord op deze vraag heb ik geleend van een bekend bal- en woordkunstenaar.

“Je gaat het pas zien als je het door hebt”

Johan Cruijff

Dames en heren. Voor ik aan mijn rede begon hebt u een titelblad gezien waarover ik tot nu toe niets gezegd heb. Dezelfde foto vindt u zometeen op de omslag van de uitgesproken tekst die in de receptieruimte op u ligt te wachten. Het beeld laat een textielvezel zien die is ingebed in een hout-plastic composiet, oftewel in een polyethyleen-cellulose matrix. De foto laat zien dat er van inbedding amper sprake is omdat het oppervlak van de vezel niet gebonden is aan de dispergerende matrix. Om een goede binding tot stand te brengen was innovatie op het grensvlak nodig. In het laatste beeld dat ik u geef, is dezelfde vezel nogmaals te zien en u mag zelf beoordelen of het doel bereikt is.

Ik heb gezegd.

Referenties

1. www.cefic.org (2006).
2. E. Croufer, P. Mermans en C. Wiegel, "The Staying Power of Europe's Chemical Industry", Arthur D Little, 2005.
3. E.L. Cussler en J. Wei, AIChE Journal, 49 (5), 1072 (2003).
4. De Grote Van Dale, "Groot Woordenboek", 14^e druk.
5. G.R. Lewis, "1001 Chemicals in everyday products", J. Wiley & Sons, 1998, ISBN 0-471-29212-5.
6. K. Autumn et. al., "Adhesive force of a single gecko foot-hair", Nature 405, 681-685 (2000).
7. H.J. Butt, K. Graf en M. Kappl, "Physics and Chemistry of Interfaces", Wiley-VCH Verlag, 2003, Weinheim ISBN 3-527-40413-9.
8. H. Mollet en A. Grubenmann, "Formulation Technology", Wiley-VCH Verlag, 2004, Weinheim, ISBN 3-527-30201-8.
9. N. Mills, "Plastics, Microstructure and Engineering Applications", Butterworth-Heinemann, ISBN 0-7506-5148-2.
10. R.J. Stokes en D.F. Evans, "Fundamentals of Interfacial Engineering", Wiley - VCH, 1997, ISBN 0-471-18647-3.
11. N. Cross, "Engineering Design Methods, Strategies for Product Design", J. Wiley & Sons, 2000, ISBN 0-471-87250-4.
12. K.T. Ulrich en S.D. Eppinger, "Product Design and Development", McGraw-Hill, 2004, ISBN 0-07-123273-7.
13. G. Taguchi, S. Chowdhury en Y. Wu, "Taguchi's Quality Engineering Handbook", J. Wiley & Sons, 2005, ISBN 0-471-41334-8.